



OŠ SPODNJA ŠIŠKA

LJUBLJANA

RAZISKOVALNA NALOGA

Fotosinteza in vpliv vode

biologija

mentorica:

Lota Gasser Vončina

raziskovalke:

Živa Primožič, 6.B

Ajda Velkavrh, 6.B

Katarina Žagar, 6.B

Ljubljana, marec 2020

Raziskovalna naloga, biologija

naslov naloge: Fotosinteza in vpliv vode

mentorica: Lota Gasser Vončina

raziskovalke: Živa Primožič, Ajda Velkavrh, Katarina Žagar

šola: Osnovna šola Spodnja Šiška

razred: 6.B

KAZALO VSEBINE

1	Zahvala	5
2	Povzetek	6
3	Uvod.....	7
3.1	Hipoteze	8
3.2	Metode raziskovanja	8
4	Teoretični del.....	9
4.1	Gozdovi v Sloveniji in v svetu	9
4.2	Dob (<i>Quercus robur</i> L.)	10
4.3	Listi in fotosinteza	11
4.4	Transpiracija.....	12
4.5	Podtalnica.....	14
5	Empirični del.....	15
5.1	Poskus s fižoli.....	15
5.2	Poskus s hrasti	18
5.2.1	Merjenje fotosinteze.....	18
5.2.2	Potek eksperimenta	19
5.2.3	Rezultati.....	20
6	Zaključki in razprava.....	24
7	Seznam virov in literature	26

KAZALO SLIK

Slika 1. Gozdnatost v Sloveniji (vir: Zavod za gozdove Slovenije, http://www.zgs.si/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/gozdnatost_in_pestrost/index.html)	9
Slika 2. Deblo in listi doba (vir: https://sl.wikipedia.org/wiki/Dob_(drevo))	11
Slika 3. Okvirna enačba fotosinteze	12
Slika 4. Prečni prerez lista in izmenjava plinov (narisala Živa Primožič).....	12
Slika 5. Zaprta (levo) in odprta listna reža (desno) (vir: https://www.nature.com/articles/s41477-019-0390-3).	13
Slika 6. Položaj zaprte (levo) in odprte listne reže (desno) (narisala Katarina Žagar).	13
Slika 7. Rastline po koncu eksperimenta, od številke 1 do 5	16
Slika 8. Kiveta (komora) merilnika fotosinteze in postavitve naprave med merjenjem	19
Slika 9. Priprava na delo in nastavitve merilnika	20
Slika 10. Namestitve lista v testno kiveto.....	20

KAZALO TABEL

Tabela 1. Rezultati poskusa s fižoli	16
Tabela 2: Rezultati meritev fotosinteze.....	22
Tabela 3: Rezultati meritev transpiracije.....	22

KAZALO GRAFOV

Graf 1. Predstavitev rezultatov meritve prirasta fižolov.....	17
Graf 3. Prikaz rezultatov meritve odziva fotosinteze na intenziteto svetlobe	21
Graf 4. Intenziteta fotosinteze pri treh nivojih osvetlitve (odprto, rob in zastrto) in primerjava odziva skupine vitalnih hrastov in skupine hrastov v stresu ..	22
Graf 5. Intenziteta transpiracije pri treh nivojih osvetlitve (odprto, rob in zastrto) in primerjava odziva skupine vitalnih hrastov in skupine hrastov v stresu ..	23

1 ZAHVALA

Rade bi se zahvalile doc. dr. Matjažu Čatru, s katerim smo izvedle meritve na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Posebna zahvala gre tudi naši učiteljici in mentorici Loti Gasser Vončina, ki nas je vztrajno vodila med pripravo raziskovalne naloge, ter našim staršem, ki so nas spodbujali in nam pomagali.

Ajda, Živa, Katarina

2 POVZETEK

Že v lanski raziskovalni nalogi z naslovom »Rast smrek na Rožniku« smo proučevale rast dreves in vplive okolja nanjo. Ugotovile smo, da je življenje in rast dreves odvisno od številnih dejavnikov in se zato ponovno poglobile v to temo. Želele smo spoznati proces fotosinteze, s katero rastline tvorijo energijo za svojo rast, in ugotoviti, kateri pogoji vplivajo nanjo.

Na začetku raziskovanja smo postavile tri hipoteze, ki smo jih nato preverjale s pomočjo tiskane in spletnih virov ter dveh poskusov. Enega smo naredile same, pri drugem pa nam je pomagal strokovnjak iz Gozdarskega inštituta Slovenije.

Vse tri postavljene hipoteze smo potrdile. Dokazale smo, da ima svetloba odločilen vpliv na rast dreves, saj ta ob večji osvetljenosti proizvedejo več fotosinteze in s tem več energije za rast. Dokazale smo tudi, da drevo, ki je dobro preskrbljeno z vodo, ob enaki osvetlitvi opravlja več fotosinteze kot drevo, ki nima dovolj vode. In končno, drevesa, ki so dobro preskrbljena z vodo, transpirirajo bolj kot tista, ki vode nimajo dovolj.

Ključne besede:

drevo, hrast, dob, fotosinteza, transpiracija, rast, svetloba, razpoložljivost vode, podtalnica

3 UVOD

Pomen gozdov za naš planet je neprecenljiv. Gozdni ekosistemi so prvotni, obsežni in ekološko zelo kompleksni sistemi, v katerih uspevajo biološko zelo raznolike združbe. Gozdovi imajo veliko – in za našo prihodnost odločilno – sposobnost blaženja klimatskih sprememb zaradi vezave toplogrednega plina ogljikovega dioksida (CO₂). Znanstveniki ocenjujejo, da je v gozdnih ekosistemih vezanega več kot polovica skupnega kopenskega ogljika; gozdovi sodelujejo pri izmenjavi 80% ogljika med kopenskimi ekosistemi in atmosfero. Neprecenljivi sta tudi ekološka in socialna vloga gozdov. In nenazadnje, gozd je pomemben vir naravnih surovin, a žal marsikje v svetu samo to in nič več.

S spoznavanjem delovanja gozda odkrivamo procese in dejavnike, ki odločilno vplivajo na ohranjanje gozdov v spreminjajočem se okolju. V literaturi lahko najdemo veliko informacij o podnebnih spremembah, od katerih sta najbolj izraziti višanje temperature okolja ter spreminjanje razporeditve ali zmanjševanje količine padavin, in to predvsem v času, ko jih drevice najbolj potrebuje.

V naši nalogi smo želele proučiti vplive okolja na intenzivnost fotosinteze rastlin ter določiti odvisnost fotosinteze od svetlobe in dostopa do podtalne vode. Zanimalo nas je tudi, kaj vpliva na izhlapevanje vode iz listov. Vprašanja, na katera smo želele odgovoriti z raziskovanjem, so bila:

- Ali drevesa, ki imajo več svetlobe, opravijo več fotosinteze kot tista, ki rastejo v senci?
- Ali drevesa z zelenimi listi opravijo več fotosinteze kot tista z npr. rdečkastimi listi?
- Koliko vode izhlapi iz enega lista? Kako lahko to količino izmerimo?
- Ali iz iglic izhlapi manj vode kot iz listov?
- Ali iz povoščenih listov izhlapi manj vode kot iz nepovoščenih?

Iskanje odgovorov na naša vprašanja se je izkazalo za zahtevno, saj sta fotosinteza in izhlapevanje (transpiracija) zapletena procesa, na katera vpliva veliko dejavnikov. Zato smo se za pomoč obrnile na strokovnjake. Ti so nam pomagali opraviti praktične poskuse, katerih rezultati so bistveno pripomogli k našemu poznavanju obeh procesov.

3.1 HIPOTEZE

V raziskovalni nalogi smo postavile naslednje hipoteze:

1. Predvidevamo, da je svetloba odločilen dejavnik za uspevanje rastlin, če so zagotovljeni ostali pogoji (temperatura, vlaga).
2. Predvidevamo, da drevesa, ki so dobro preskrbljena z vodo, opravijo več fotosinteze kot drevesa, ki so z vodo slabo preskrbljena.
3. Predvidevamo, da z vodo dobro preskrbljena drevesa transpirirajo močnejše kot drevesa, ki jim vode primanjkuje.

3.2 METODE RAZISKOVANJA

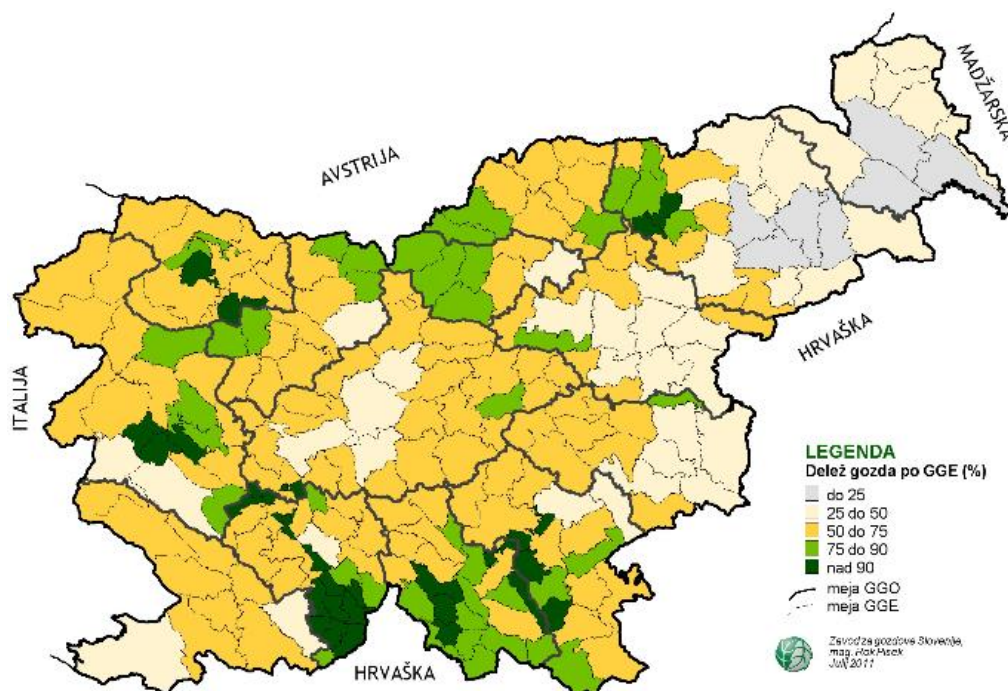
Uporabljale smo naslednje metode raziskovanja:

- poiskale smo podatke v elektronskih in tiskanih virih - spletnih straneh ter knjigah (teoretična metoda raziskovanja),
- pripravile smo poskus z večjim številom rastlin, da bi ugotovile, kateri okoljski dejavniki najbolj vplivajo na rast rastlin,
- obiskale smo Gozdarski inštitut Slovenije in v pogovoru s strokovnjakom izvedele, kateri so ključni dejavniki, ki vplivajo na fotosintezo in transpiracijo,
- izvedle smo praktična poskusa z opazovanji in meritvami,
- po opravljenih meritvah smo analizirale pridobljene podatke.

4 TEORETIČNI DEL

4.1 GOZDOVI V SLOVENIJI IN V SVETU

Slovenija je za Finsko in Švedsko najbolj gozdnata dežela v Evropi: po podatkih iz leta 2019 kar 58,1% površine Slovenije pokrivajo gozdovi. Površina gozdov v Sloveniji se je od leta 1875, ko je bila pokritost današnje države z gozdom 38%, povečevala.



Slika 1. Gozdnatost v Sloveniji (vir: Zavod za gozdove Slovenije, http://www.zgs.si/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/gozdnatost_in_pestrost/index.html)

V letu 2019 je lesna zaloga v Sloveniji znašala 386 milijonov kubičnih metrov (m^3) ali $328 m^3/ha$. Večji delež gozdov predstavljajo listavci (56%), delež iglavcev znaša 44%. Vnos tujerodnih drevesnih vrst in golosečni način gospodarjenja z gozdom pri nas ni dovoljen.

Gozdovi so zapleteni kopenski ekosistemi, ki imajo pomemben vpliv na svoje širše okolje in predstavljajo življenjsko okolje za številne rastlinske in živalske vrste. Med temi vrstami in okoljem se vzpostavi dinamično ravnovesje, ki omogoča njihov obstoj in prilagajanje spremembam. Vplivi gozdov oz. gozdnih ekosistemov so številni in omogočajo obstoj človeka in družbe, čeprav se tega običajno ne zavedamo. Gozdovi na zgornji gozdni meji na primer ščitijo strma pobočja pred

nevarnostjo plazov in erozijo, na kraških tleh zaradi svoje sposobnosti zadrževanja vode omogočajo dobro preskrbo z vodo, v bližini mest ponujajo protiutež hrupu in dajejo možnost za oddih in rekreacijo. Vpliv gozdov lahko občutimo tudi v krajih, ki so od gozdov oddaljeni nekaj sto ali tisoč kilometrov.

Gospodarjenje z gozdovi v Sloveniji ima zelo dolgo zgodovino in danes sloni na sonaravnem pristopu. V preteklosti so v gozdove pogosto vnašali drevesne vrste, ki so bile ekonomsko zanimive, čeprav niso bile primerne za vsa rastišča. Danes ravnamo drugače in poskušamo gozdove ohranjati v njihovi izvorni sestavi. Vremenski ekstremi (suše, vetrolomi, žled) povečujejo tveganja in posledično zmanjšujejo stabilnost gozdov. Po ujmah se velikokrat namnožijo podlubniki, kinapadejo zdrave gozdne sestoje. Resno grožnjo za gozdove predstavljajo klimatske spremembe. Gozdovi jim lahko kljubujejo z večjo odpornostjo ali boljšo prilagodljivostjo na spremenjene okoljske razmere.

Zaradi dolge življenjske dobe gozda je večanje njegove odpornosti in prilagodljivosti dolgotrajen in nepredvidljiv proces. Tveganje za obstoj gozda zmanjšujemo s sonaravnim načinom gospodarjenja, naravnim pomlajevanjem in izbiro drevesnih vrst, ki ustrezajo posebnostim rastišča. Skrbimo za stalno pokritost in zaščito gozdnih tal. Velikega pomena za ohranitev gozdov ima poleg strokovnega upravljanja tudi ozaveščanje javnosti, saj ljudje s poseganjem v gozd (odpadki, kurjenje, nenadzorovana sečnja) lahko gozdu močno škodujemo.

4.2 DOB (QUERCUS ROBUR L.)

Dob sodi med naravno prisotne vrste hrastov v Sloveniji (poleg cera, gradna, puhastega hrasta in črničevja) in predstavlja listopadno drevesno vrsto nižinskih gozdov. Zraste lahko tudi preko 50 metrov visoko. Ima močno deblo ter obsežno in dobro razvito krošnjo. Razširjen je po celi Evropi, razen na skrajnem severu. Najbolje uspeva na svežih, globokih in s hranili bogatih obrečnih tleh, ki jih občasno poplavlja. Dobro prenaša zmrzali, razmnožuje se izključno s semeni. Sodi med gospodarsko pomembne drevesne vrste.

Les doba je izredno cenjen; je zelo trd, odporen ter primeren za obdelavo; uporaben je za gradnjo plovil, sodov, stavbnega pohištva in talnih oblog. Ima značilno svetlejšo, dobro vidno beljavo in temnejšo črnjavo.

Rastišča doba predstavljajo površine, ki so jih v preteklosti najmočneje poseljevali in spreminjali v kmetijska zemljišča zaradi bogatih tal. Zaradi vplivov delovanja človeka (poselitve, onesnaževanja okolja, naraščajočih pritiskov zaradi različne rabe tal, spremenjenega vodnega režima) in spremembe klimatskih dejavnikov so današnje dobrove najbolj spremenjeni gozdni ekosistemi v Sloveniji in v Evropi. Težave predstavljajo upadanje vitalnosti, sušenje, povečan delež starih dreves in težave pri pomlajevanju. Umiranje odraslih sestojev je neposredno povezano s spremembami razpoložljive podtalne vode, vremenskimi ekstremi in motnjami zaradi vpliva človeka. Največji vpliv ima zniževanje podtalnice.

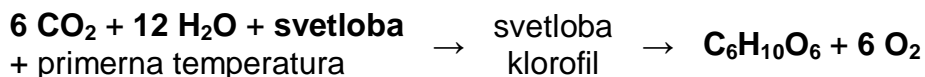


Slika 2. Deblo in listi doba (vir: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Dob_\(drevo\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Dob_(drevo)))

V ugodnih razmerah (Slavonija, Hrvaška) doseže dob do 550 let, na severu svoje razširjenosti, kjer raste počasneje, tudi do 1100 let (Švedska). V gospodarskih sestojih dosega starost med 150 in 200 let.

4.3 LISTI IN FOTOSINTEZA

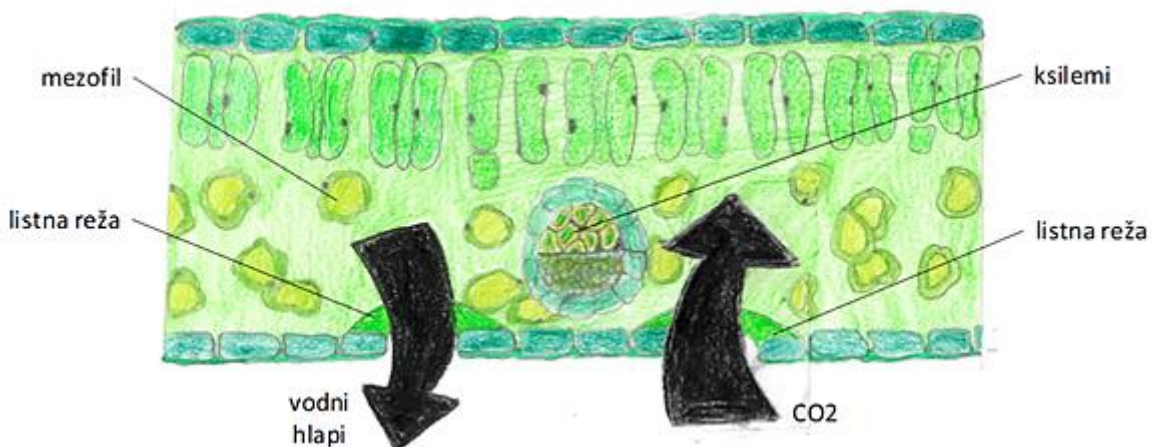
Fotosinteza je biokemijski proces, s katerim rastline izrabljajo energijo sončne svetlobe za pridelavo hrane. Poteka v listih zelenih rastlin. Rastline iz ogljikovega dioksida (CO_2) in vode (H_2O) pod vplivom svetlobe sintetizirajo ogljikove hidrate oziroma sladkorje (CH_2O)_n, ki jih potrebujejo za rast in razvoj. Pogoj za fotosintezo je primerna temperatura.



Slika 3. Okvirna enačba fotosinteze

Procesi potekajo v kloroplastih, celičnih organelih, ki se nahajajo v listih rastlin. Listi (pri iglavcih jih imenujemo iglice) so organi, prilagojeni za sprejemanje kar največ svetlobe.. Živijo lahko eno leto (listavci) ali več let (iglavci). Izjema je macesen, ki odvrže iglice vsako jesen.

Osnovno tkivo lista, v katerem poteka fotosinteza, se imenuje mezofil ali listna sredica. Celice listne sredice so zelene zaradi velike količine klorofila, ki ga vsebujejo. Obe strani lista prekriva tanka, običajno enoplastna prosojna povrhnjica, ki ščiti list pred izsuševanjem; navzven izloča maščobno plast (kutikulo). Zeleni listi so najbolj aktivni spomladi in poleti.



Slika 4. Prečni prerez lista in izmenjava plinov (narisala Živa Primožič)

Vodo in rudninske snovi srka rastlina iz zemlje preko korenin, ogljikov dioksid pa dobi iz zraka. Klorofil sproži reakcijo – fotosintezo.

4.4 TRANSPIRACIJA

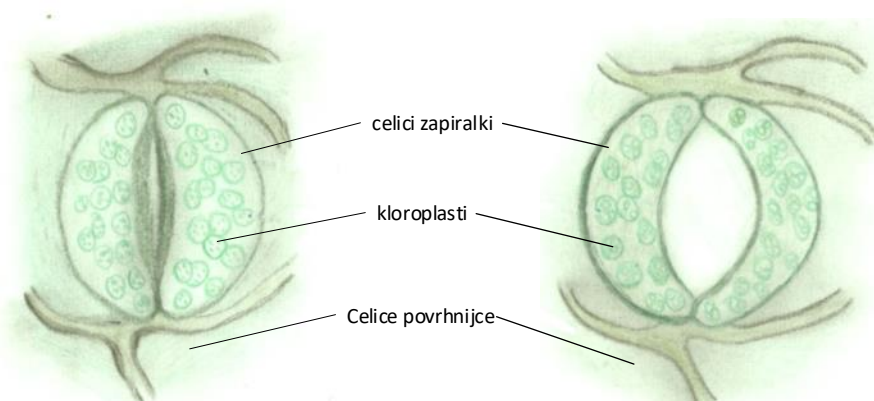
Transpiracija je izhlapevanje vode skozi listne reže. Voda vstopa v drevo skozi koreninske laske in po ksilemskih elementih skozi deblo do listov. Nekaj vode se

porabi pri fotosintezi, večina pa je izhlapi skozi listne reže. Z izhlapevanjem rastlina uravnava temperaturo: odvaja odvečno toploto in preprečuje pregrevanje lista.



Slika 5. Zaprta (levo) in odprta listna reža (desno) (vir: <https://www.nature.com/articles/s41477-019-0390-3>).

Del listne reže je mikroskopska odprtina v spodnji povrhnjici. Skoznjo prehajajo plini. Zlasti pomembno je prehajanje ogljikovega dioksida iz ozračja v list; brez ogljikovega dioksida fotosinteza ne bi bila mogoča. Druga pomembna naloga listne reže je uravnavanje izhlapevanja vodne pare iz lista. List z odprtimi režami bi lahko izgubil preveč vode zaradi izhlapevanja. Do tega ne pride, ker je vsaka reža obdana s parom celic zapiralk. Ti ledvičasto oblikovani celici s svojim spreminjanjem napetosti zapreta režo, kadar rastlini grozi izsušitev. Odprtost listnih rež uravnava več dejavnikov: ko list fotosintetizira, je v celicah zapiralkah dovolj sladkorjev, napetost celic (turgor) je velik in celici sta odprti. Če se koncentracija zmanjša, se celici zapreta. Podobno je z vodo: če je vode dovolj, sta celici odprti, sicer se zapreta in preprečita dodatno izgubljanje vode.



Slika 6. Položaj zaprte (levo) in odprte listne reže (desno) (narisala Katarina Žagar).

Če rastlina izgubi preveč vode, oveni. Izhlapevanje vode iz lista je odvisno od značilnosti lista: list bukve izgubi veliko več vode kot lovorov list, ki ima povoščeno in neprepustno zgornjo povrhnjico.

4.5 PODTALNICA

Podtalnica ali podzemna voda je voda pod Zemljinim površjem, ki pride v tla s pronicanjem padavin ter premikanjem vode iz jezer in rek. Voda v tleh izrine zrak in zapolni vse prostore do določene višine, to je gladine podtalnice. Gladina ali raven podzemne vode, ki jo na primer vidimo v vodnjaku, je meja nasičenega dela tal. Nad njo je še plast kapilarnega dviga podzemne vode, nato pa plast do površine tal, ki je nenasičena z vodo.

Kadar je vode dovolj, je podtalnica bližje površju in bolje navlaži višje zemeljske plasti, v kateri so korenine. Tako je voda na voljo rastlinam. V sušnih razmerah je več izhlapevanja in porabe vode, zato se raven podtalnice spusti globlje pod zemeljsko površje. Takrat rastline dobijo manj vode, preskrba z vodo je otežena.

Podtalnica je ključnega pomena za uspevanje nižinskih dobovih gozdov. Včasih so bili ti gozdovi prilagojeni na občasno poplavljanje ob obilju padavin spomladi in jeseni, danes pa vremenski ekstremi in prerazporeditev padavin skozi leto otežujeta njihovo rast. Svoje prispeva tudi človek: zaradi bogatih tal je prav na nižinskih področjih največ kmetijskih površin, ustvarjeni odvodni kanali pa znižujejo raven podtalnice. Upad podtalnice je tesno povezan z umiranjem odraslih dobovih dreves in njihovimi slabšimi odzivi na spremembe v okolju.

Do sprememb prihaja počasi, neopazno, a gladina podtalnice se vztrajno umika globlje pod površje. Ponekod le še imena krajev, ki se začenjajo z Dob- (Dobrava) pričajo, ta so na teh mestih v preteklosti uspevali obširni dobovi gozdovi, ki jih zaradi okoljskih sprememb in posegov človeka danes ni več.

5 EMPIRIČNI DEL

5.1 POSKUS S FIŽOLI

Izvedle smo poskus s semeni fižola (15 semen), ki smo jih posadile v enaka tla in jih vsak dan zalivale. Po tednu dni smo od tistih, ki so vzklili, izbrale 5 najbolj podobnih in jih izpostavile različnim okoljskim dejavnikom: različnim svetlobnim razmeram, različni količini vode in različni temperaturi. Poskusile smo ugotoviti, kateri od teh dejavnikov najbolj vpliva na rast rastlin. Kot kriterij uspešne rasti smo izbrale višino rastline – prirast v času eksperimenta in število listov.

Rastline smo postavile v različna okolja:

- Fižol (1) je bil **kontrolni**, z ugodno temperaturo in svetlobo
- Fižol (2) je imel zelo **ugodno svetlobo**; temperatura in preskrba z vodo sta bili enaki kot pri kontrolnemu vzorcu
- Fižol (3) je imel **neugodno svetlobo**; temperatura in preskrba z vodo sta bili enaki kot pri kontrolnemu vzorcu
- Fižol (4) je imel **preveč vode**; svetloba in temperatura sta bili enaki kot pri kontrolnemu vzorcu
- Fižol (5) je imel **neugodno temperaturo**; svetloba in preskrba z vodo sta bili enaki kot pri kontrolnemu vzorcu

Vsak dan smo vse rastline zalile s 40 ml vode (fižol 4 po 80 ml). Opazovale smo njihovo rast in število listov ter merile njihovo višino. Po 8 dneh smo izmerile skupen prirast posamezne rastline.

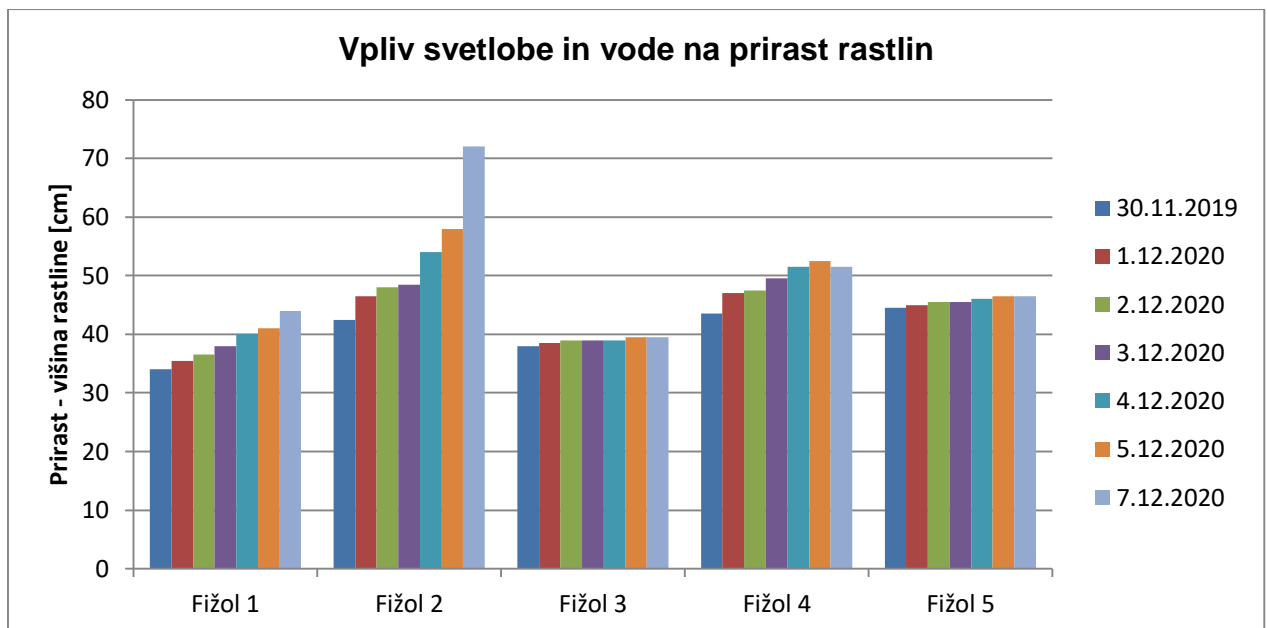


Slika 7. Rastline po koncu eksperimenta, od številke 1 do 5

Tabela 1. Rezultati poskusa s fižoli

št.	datum	meritev	fižol 1	fižol 2	fižol 3	fižol 4	fižol 5
1	30.11.2019	višina [cm]	34	42,5	38	43,5	44,5
2	1.12.2019	višina [cm]	35,5	46,5	38,5	47	45
3	2.12.2019	višina [cm]	36,5	48	39	47,5	45,5
4	3.12.2019	višina [cm]	38	48,5	39	49,5	45,5
5	4.12.2019	višina [cm]	40	54	39	51,5	46
6	5.12.2019	višina [cm]	41	58	39,5	52,5	46,5
7	7.12.2019	višina [cm]	44	72	39,5	51,5	46,5
	prirast	višina [cm]	10	29,5	1,5	8	2

Rezultate poskusa prikazuje naslednji graf:



Graf 1. Predstavitev rezultatov meritve prirasta fižolov

Ugotovile smo:

- Najbolj izrazito je zrasel fižol z zelo ugodno svetlobo in ugodno temperaturo, to je fižol (2).
- Najmanj je, kljub rednemu zalivanju, zrasel fižol z neugodno svetlobo (3).
- Dodatno zalivanje (4) je sicer povečalo priraščanje v primerjavi s kontrolno rastlino, vendar se je rast po 5 dneh ustavila. Rastlina je zgnila, listi so oveneli in se posušili.
- Neugodna temperatura (5) ni omogočila takšnega priraščanja kot pri kontrolni rastlini.
- Število listov nam žal ni dalo uporabnih rezultatov. V času našega eksperimenta je le fižol št.2 naredil tri nove liste, pri ostalih rastlinah pa je število listov ostalo nespremenjeno. Morda bi bila primernejša mera za uspešno rast skupne površine vseh listov.

Iz našega poskusa smo ugotovile, da na rast rastlin pomembno vpliva svetloba, kar smo pričakovale. Presenetilo pa nas je, da temperatura na rast ni vplivala v enaki meri.

Sklepamo, da je svetloba odločilni dejavnik, ki vpliva na rast rastlin, če so rastline dobro priskrbljene z vodo. Tako svetloba kot voda predstavljata ključna dejavnika za uspevanje rastlin. Pogoj za rast so tudi ugodne temperaturne razmere.

5.2 POSKUS S HRASTI

Na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo s pomočjo doc. dr. Matjaža Čatra izvedle meritve fotosinteze na dveh skupinah mladih dreves hrasta doba. Prva skupina mladih dobov je v naravi rastle na ugodnih tleh z zadostno preskrbo vode (podtalnica 1,8m od tal), druga pa v sušnih razmerah (3-4m od tal). V vsaki skupini smo izbrali po eno drevo na odprtem, po eno na gozdnem robu in po eno drevo pod zastorom odraslega drevja; skupaj torej 6 dreves v treh primerljivih skupinah svetlobnih razmer. Meritve smo izvedli v času, ko je bilo listje polno razvito.

Merili smo fotosintezo listov vseh 6 drevesc v enakih, primerljivih okoljskih razmerah:

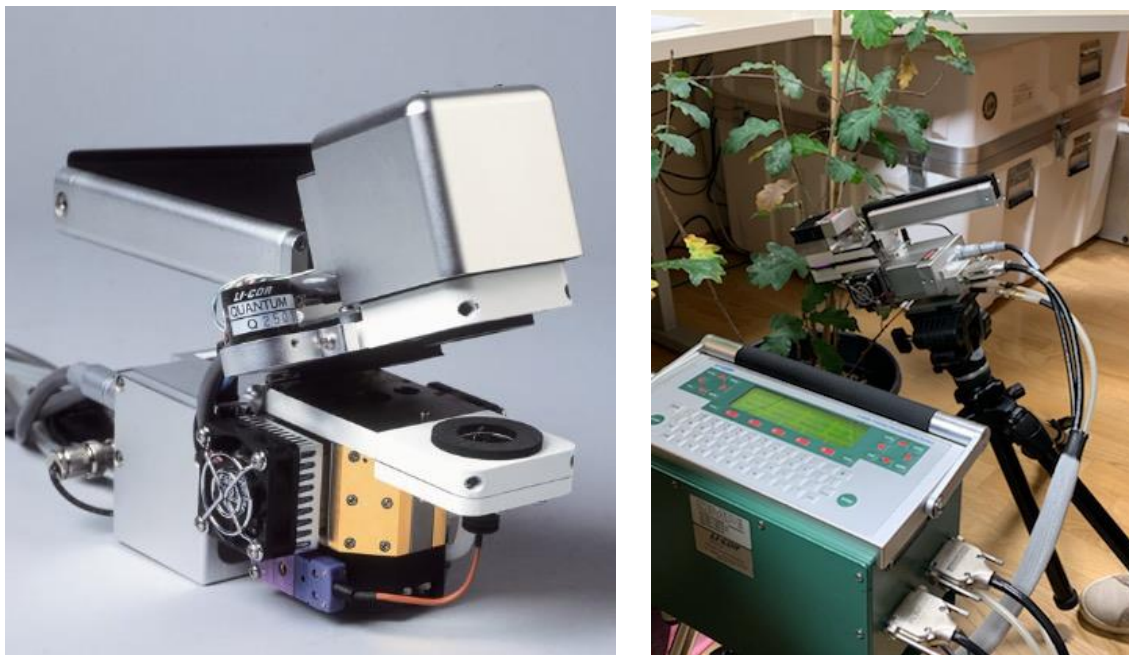
- s stalno temperaturo merilnega bloka 20°C;
- s stalnim pretokom plinov in vlage (500 $\mu\text{mol/s}$);
- s stalno količino vzorčnega CO₂ (400 $\mu\text{mol/l}$);
- enako površino lista, na kateri smo opravili meritve.

Meritve smo opravili s prenosnim merilcem LI-6400, ki omogoča nadzorovanje naštetih dejavnikov. Sestavljen je iz ohišja z zaslonom, v katerem je procesor (računalnik) in iz merilne komore (kivete), kamor tesno zapremo list, ki ga merimo na drevesu. Paziti moramo, da lista ne poškodujemo. Kiveta je zato na stojalu. Med razmerami v merilni komori, ki jih lahko kontroliramo, je tudi jakost svetlobe. Z nastavitvijo različne jakosti osvetlitve lahko vzpostavimo enake svetlobne razmere, kot jih imajo listi na odprtem, na gozdnem robu in v zastrtem gozdu.

5.2.1 MERJENJE FOTOSINTEZE

Merilec LI-6400 s pomočjo infrardečih tipal meri koncentracijo CO₂ in vodnih hlapov, ki v sistem vstopajo in izstopajo. Na osnovi razlik koncentracije CO₂ in vode izmerimo, koliko CO₂ določen vzorec porabi (veže iz okoljskega zraka) za nastanek sladkorjev. Meritve so zelo natančne (na 1 ppm - eno milijoninko). Kadar list opravlja

fotosintezo (fotosintetizira), je koncentracija CO_2 , ki iz merilne komore izhaja, manjša od vstopne koncentracije, saj list CO_2 porablja.



Slika 8. Kiveta (komora) merilnika fotosinteze in postavitev naprave med merjenjem

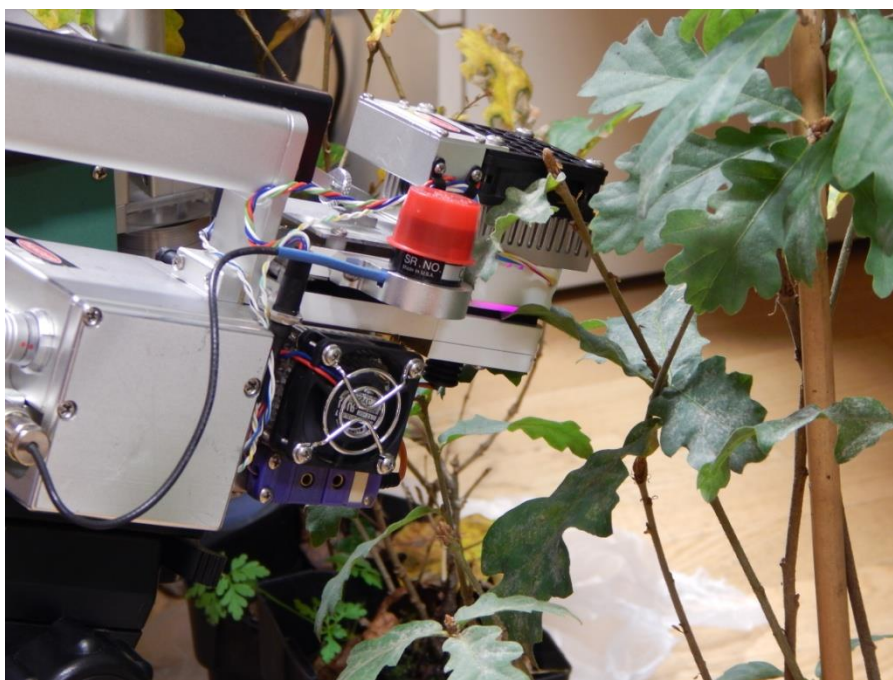
5.2.2 POTEK EKSPERIMENTA

Najprej smo merilec sestavili in ga umerili. Potem smo določili dejavnike, ki smo jih ves čas meritev ohranjali na stalni ravni. Spreminjali smo jakost svetlobe in merili odzive izbranih dreves. Vrednosti fotosinteze so ob začetku poskusa najprej spreminjale zaradi prilagajanja lista/rastline, potem pa so postale stalne. Šele tedaj smo zabeležili odziv. Nadaljevali smo z večjo jakostjo svetlobe in postopek ponovili večkrat na isti rastlini (4-krat).

Poleg fotosinteze naprava LI-6400 meri tudi transpiracijo.



Slika 9. Priprava na delo in nastavitve merilnika

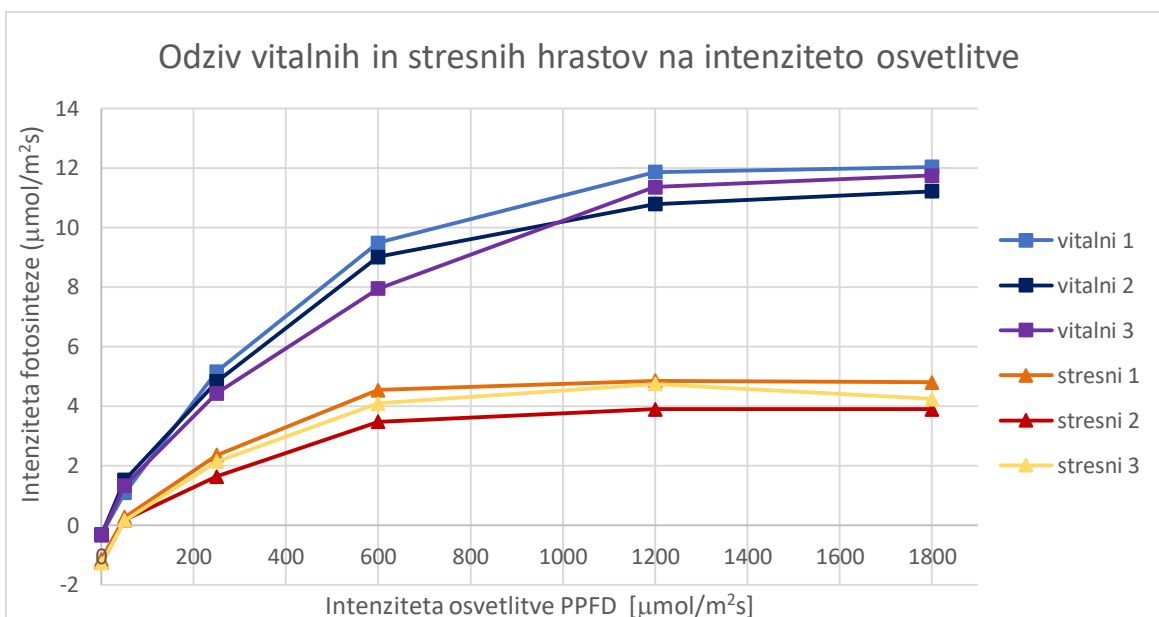


Slika 10. Namestitev lista v testno kiveto

5.2.3 REZULTATI

V prvem delu analize podatkov smo meritve predstavili z grafom, ki prikazuje, kako se spreminja intenzivnost fotosinteze pri povečevanju jakosti svetlobe. Primerjali

smo odziv hrastov z dobro preskrbo z vodo – vitalni hrasti in hrastov z nezadostno oskrbo z vodo – stresne razmere.



Graf 2. Prikaz rezultatov meritve odziva fotosinteze na intenziteto svetlobe

Ugotovitve:

- Vsi hrasti so se odzvali na povečevanje jakosti svetlobe.
- Odziv vitalnejših dreves je bil v vsaki skupini dreves (drevesa z odprtega, z gozdnega roba in iz zastrtega gozda) večji od stresnih dreves.
- Vsi hrasti v isti skupini so se odzvali zelo podobno; razlika med vitalnimi in stresnimi hrasti je bila večja kot razlike znotraj obeh tipov.
- Graf kaže, da je povečevanje intenzitete fotosinteze na začetku veliko, nato pa se kljub rasti jakosti osvetlitve naraščanje intenzivnosti fotosinteze začne ustavljati.
- Enak potek ustavljanja povečevanja intenzitete fotosinteze opazimo pri obeh tipih hrastov (vitalni, stresni). Razlika je le, da se je povečevanje intenzitete fotosinteze pri stresni skupini ustavilo na precej nižji ravni fotosinteze.
- V skupini hrastov z neugodnimi vodnimi razmerami (stresni) se je pri največji intenziteti svetlobe fotosinteza pri enem drevesu celo zmanjšala.

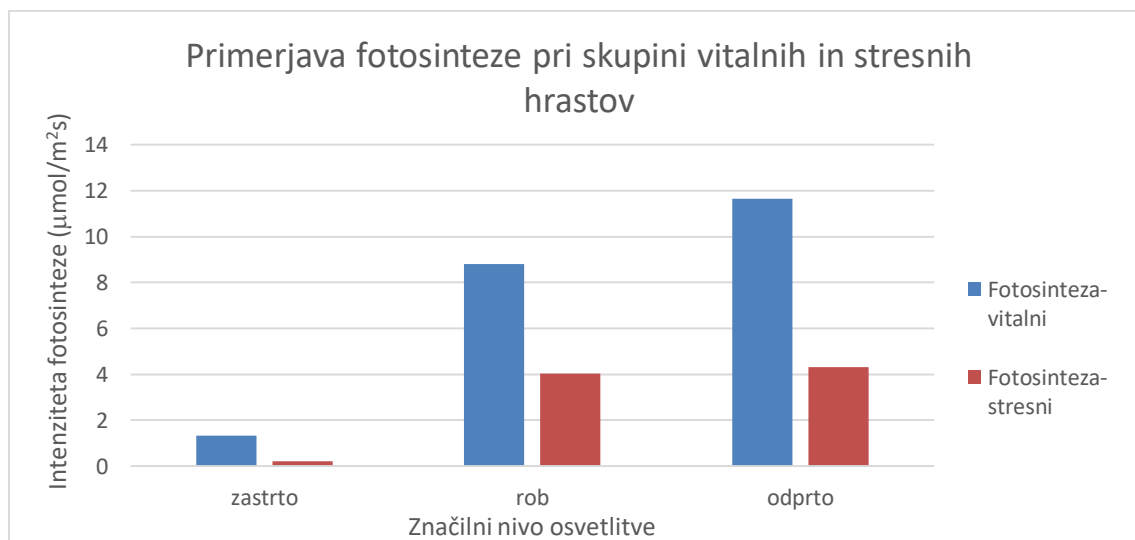
Podatke meritve intenzitete fotosinteze smo primerjali še z meritvami transpiracije. Rezultate smo predstavili v obliki primerjave obeh skupin hrastov pri treh značilnih ravneh jakosti osvetlitve. Tri ravni jakosti svetlobe predstavljajo rastišče hrasta na odprtem, na gozdnem robu in v zastrtem gozdu.

Tabela 2: Rezultati meritev fotosinteze

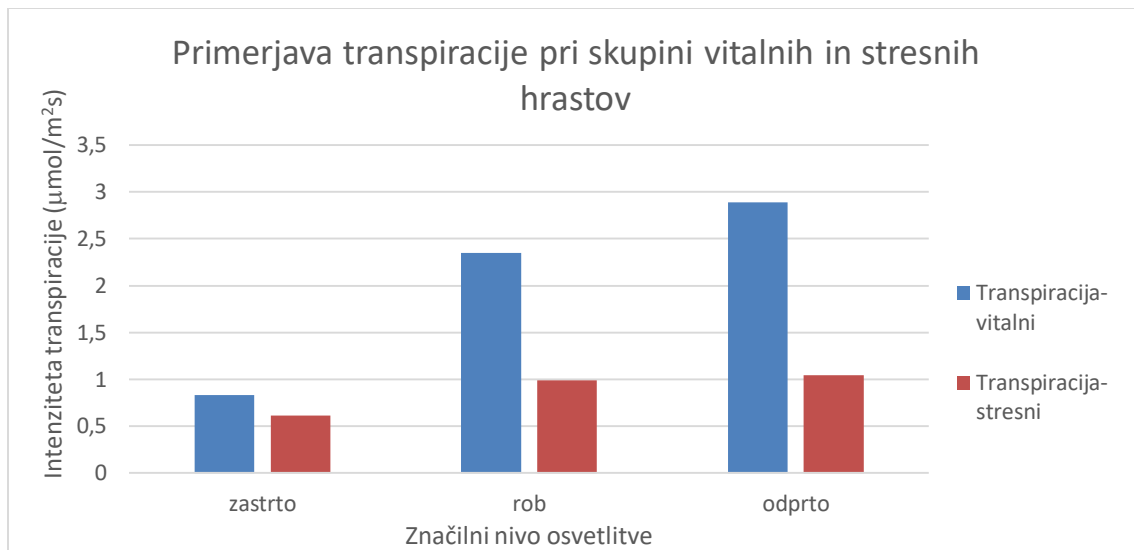
rastišče	intenziteta osvetlitve [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	fotosinteza-vitalni [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	fotosinteza-stres [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]
Zastrto	50	1,3	0,2
Rob	600	8,8	4,0
Odprto	1800	11,7	4,3

Tabela 3: Rezultati meritev transpiracije

rastišče	intenziteta osvetlitve [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	transpiracija-vitalni [$\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	transpiracija-stres [$\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]
zastrto	50	0,83	0,61
Rob	600	2,35	0,99
odprto	1800	2,89	1,04



Graf 3. Intenziteta fotosinteze pri treh nivojih osvetlitve (odprto, rob in zastrto) in primerjava odziva skupine vitalnih hrastov in skupine hrastov v stresu



Graf 4. Intenziteta transpiracije pri treh nivojih osvetlitve (odprto, rob in zastrto) in primerjava odziva skupine vitalnih hrastov in skupine hrastov v stresu

Z naraščanjem osvetljenosti se podobno povečujeta intenziteta fotosinteze in transpiracije. Enako kot pri fotosintezi smo močnejšo transpiracijo opazili pri drevesih, ki imajo boljšo preskrbo z vodo. Sklepamo lahko, da sta oba procesa neposredno povezana preskrbo z vodo.

Zaključki:

Za nemoteno delovanje rastlin je nujna voda. Proces fotosinteze, v katerem se ustvarijo hranila, je odvisen od preskrbe z vodo in osvetljenosti. Če je vode dovolj, fotosintetizira drevo močnejše, kot če vode primanjkuje.

- Drevo, ki ni bilo pod stresom (je imelo zadostno količino vode), je v vseh treh primerih zastiranja svetlobe proizvedlo več fotosinteze kot drevo pod stresom. Pri drevesu, ki je raslo z nezadostno količino vode (stresno), je bila fotosinteza več kot polovico slabša kot pri drevesu, ki ni bilo pod stresom, pa čeprav je list dobil veliko svetlobe. .
- Proizvedena fotosinteza je pri zastrti svetlobi pri obeh drevesih (vitalno, stresno) veliko slabša kot pri samo delno zastrti svetlobi.
- Pri grafu intenzitete fotosinteze in intenzitete transpiracije lahko opazimo podobne zakonitosti. Iz tega sklepamo, da sta fotosinteza in transpiracija medsebojno povezani.

- Intenziteta fotosinteze ob povečevanju osvetljenosti najprej strmo narašča, nato pa se ustali. Pri hrastih v stresu je raven ustalitve precej nižja kot pri hrastih, ki so z vodo dobro oskrbljeni. Enako odvisnost kaže tudi graf transpiracije. Sklepamo lahko, da je raven, na kateri se povečevanje intenzitete fotosinteze ustavi, odvisna od preskrbljenosti rastline z vodo.

S povečevanjem intenzitete svetlobe se je povečevala fotosinteza; odziv je bil izrazitejši v skupini, ki je imela boljše vodne razmere (višja gladina podtalnice) Fotosinteza je bila v tej skupini dreves več kot 2-krat večja kot v skupini s slabšimi vodnimi razmerami.

6 ZAKLJUČKI IN RAZPRAVA

Na podlagi našega raziskovalnega dela smo naredile naslednje zaključke:

- Prvo hipotezo, da je svetloba odločilen dejavnik za rast rastlin in za proces fotosinteze, smo potrdile. Potrjujejo jo viri v literaturi in tudi oba naša eksperimenta. S poskusoma smo dokazale, da imajo intenzivnejšo fotosintezo in da bolje uspevajo (hitreje rastejo) rastline z več svetlobe. Rezultati drugega eksperimenta so pokazali, da morajo biti za optimalno izkoriščanje svetlobe izpolnjeni tudi drugi dejavniki. V našem primeru smo pokazale, da je en od teh dejavnikov preskrbljenost z vodo.
- Naša druga hipoteza je bila, da imajo drevesa, ki so dobro preskrbljena z vodo, intenzivnejšo fotosintezo kot drevesa, ki so slabo preskrbljena z vodo. To hipotezo smo potrdile z rezultati poskusa s hrasti, ki so predstavljeni v grafih 2, 3 in 4. Rezultati kažejo, da drevo, ki je dobro preskrbljeno z vodo in ni v stresu, v vseh pogojih osvetlitve fotosintetizira bolj kot drevo, ki je raslo v pomanjkanju vode.
- Tretjo hipotezo, v kateri smo predvidevale, da je proces transpiracije pri drevesih, ki so dobro preskrbljena z vodo, intenzivnejši kot pri drevesih, ki so slabo preskrbljena z vodo, lahko potrdimo na podlagi naših meritev in literature. Bolje kot je rastlina preskrbljena z vodo, intenzivnejša sta lahko procesa fotosinteze in transpiracije.

- Opazile smo, da se z večanjem osvetljenosti fotosinteza povečuje samo do določene mere, potem pa večanje osvetlitve ne vodi k nadaljnjemu povečevanju fotosinteze in vezave ogljika. Drevo postane zasičeno in ne zmore ustvariti več, kot mu to določajo naravne omejitve. Pri drevesih s slabšo preskrbljenostjo z vodo se je zasičenost pojavila pri nižji ravni fotosinteze.

Na fotosintezo in posledično na rast rastlin vpliva veliko dejavnikov, ne samo količina osvetlitve (sončne svetlobe), kot smo mislile pred začetkom raziskovanja. Na podlagi našega dela, posebno dveh eksperimentov, smo ugotovile, da je za fotosintezo zelo pomembna tudi ustrezna preskrba z vodo. Če ima rastlina vode premalo, ne more optimalno izkoristiti svetlobe. Tako kot pri vseh bioloških sistemih tudi rastline velja, da razpoložljivost virov deluje omejevalno: tisti vir (voda, svetloba, toplota...), ki je premalo, bo omejevala optimalno delovanje celega sistema.

Pričakujemo, da bo zaradi globalnega segrevanja postala za slovenske gozdove ustrezna preskrba z vodo vse bolj kritičen dejavnik rasti, pa čeprav bodo gozdovi dovolj osončeni.

Pri pripravi raziskovalne naloge smo naučile veliko novega o raziskovalnem delu: kako najti in uporabiti vire, kako pravilno zasnovati in izvesti eksperiment (tako preprostega, kot zapletenega, ki zahteva posebne tehnike in naprave), kako prikazati zbrane podatke in kako te podatke razumeti. Naučile smo se tudi, da raziskovanje zahteva čas in veliko dela, predvsem pri pripravi poskusa in pisanju povzetka.

7 SEZNAM VIROV IN LITERATURE

- [1] *Kako temperatura zraka vpliva na rastline?* (elektronski vir). Uporabljeno 19. 01. 2020, dostopno na https://www.canna.si/kako_temperatura_zraka_vpliva_na_rastline.
- [2] Pep Cuerda Quintana. *Vodnik po botaniki*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 2006.
- [3] *Podtalnica*, Wikipedija (elektronski vir). Uporabljeno 19. 01. 2020, dostopno na <https://sl.wikipedia.org/wiki/Podtalnica>.
- [4] *Podzemne vode* (elektronski vir). Uporabljeno 19. 01. 2020, dostopno na <https://eucbeniki.sio.si/geo1/2522/index9.html>.
- [5] *Praktično ni drevesne vrste, ki ne bi bila v težavah zaradi podnebnih sprememb* (elektronski vir). Uporabljeno 19. 01. 2020, dostopno na <https://www.rtv slo.si/okolje/novice/prakticno-ni-drevesne-vrste-ki-ne-bi-bila-v-tezavah-zaradi-podnebnih-sprememb/452017>.
- [6] *Rastlinski list* (elektronski vir). Uporabljeno 10. 11. 2019, dostopno na https://howlingpixel.com/i-sl/Rastlinski_list.
- [7] *Skrivnosti gozda*. Uredila Staša Tome. pisci besedil Franc Batič, Ivo A. Božič, Robert Rus, Metka Culiberg, Andrej Gogala et al. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije, 2007. Str 11-16, 21-30, 40-50, 60.
- [8] *Stomata feel the pressure* (elektronski vir). Uporabljeno 01. 03. 2020, dostopno na <https://www.nature.com/articles/s41477-019-0390-3>.
- [9] *Transpiracija*, Wikipedija (elektronski vir). Uporabljeno 19. 01. 2020, dostopno na https://sl.wikipedia.org/wiki/Rastlinski_list#Transpiracija.